МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE





УДК 621.778.1
https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-4-323-330

Научная статья



О контроле технического состояния лифтовых канатов на основе технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения

А. В. Панфилов ✉, **А. Р. Юсупов**, **А. А. Короткий**, **Б. Ф. Иванов**
Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
✉ panfilov@ikcmysl.ru

Аннотация
Введение. Рассмотрены проблема безопасности и ситуация с аварийностью при эксплуатации лифтовых установок. С точки зрения статистики обозначена роль дефектов лифтовых канатов как фактора опасных инцидентов. Перечислены неисправности механического оборудования лифта, связанные с браковочными показателями канатов. Отмечено различие в документальной фиксации браковочных показателей и норм браковки канатов подъемных сооружений.

Материалы и методы. Описываются известные подходы к контролю канатов подъемных сооружений. Подчеркивается обязательность визуально-измерительного контроля (ВИК) для выявления таких норм браковки стальных лифтовых канатов, как: изменение геометрии, коррозия и износ, обрывы проволок, температурное воздействие и пр. Норма браковки представлена в виде математической системы. Техническое состояние при эксплуатации лифтовых канатов интегрально оценивается по совокупности выявленных дефектов на фиксированной длине. Обосновано решение создать программно-аппаратный комплекс (ПАК) для практической реализации визуально-измерительного контроля.

Результаты исследования. Разработанный лабораторный образец ПАК ВИК состоит из аппаратной части, модуля обработки видеопотока, средства коммуникации для связи с сервером, специально созданного софта и клиентского мобильного приложения. ПАК ВИК реализует следующие функции:

– автоматическое обнаружение и классификация основных значимых дефектов канатов на основе глубокой сверточной искусственной нейронной сети;

– демонстрация объемного изображения каната и алгоритма развертки изображения с компенсацией искажений, по которому фиксируются метрические характеристики дефектов;

– интегральная оценка технического состояния каната по совокупности обнаруженных дефектов;

– цветовая интерпретация фактического технического состояния каната с последующей передачей на мобильное устройство пользователя.

Предварительные испытания показали пригодность ПАК ВИК для определения дефектов. Достоверность результатов по выявлению и квалификации дефектов превысила 80 %. Продолжаются работы по глубокому обучению системы.

Обсуждение и заключения. ПАК ВИК лифтовых канатов позволяет исключить риски визуального контроля, обусловленные психофизическим состоянием человека, работает дистанционно и бесконтактно. Предложенное авторами решение автоматически оценивает браковочные показатели по пяти критериям: обрывы наружных проволок, поверхностный износ, изменение диаметра каната, волнистость, следы температурного воздействия. Важный результат ВИК стальных канатов с использованием компьютерного зрения и искусственного интеллекта — повышение надежности и безопасности при эксплуатации лифтового оборудования.

***Ключевые слова*:** дефекты, лифтовые канаты, нормы браковки, визуально-измерительный контроль, программно-аппаратный комплекс, искусственные нейронные сети, компьютерное зрение.

© Панфилов А. В., Юсупов А. Р., Короткий А. А., Иванов Б. Ф., 2022

Благодарности. Авторы выражают благодарность за финансовую поддержку исследования ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере».

Для цитирования. О контроле технического состояния лифтовых канатов на основе технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения / А. В. Панфилов, А. Р. Юсупов, А. А. Короткий, Б. Ф. Иванов // Advanced Engineering Research. — 2022. — Т. 22, № 4. — С. 323–330. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-4-323-330

Original article

On the Control of the Technical Condition of Elevator Ropes Based on Artificial Intelligence and Computer Vision Technology

Alexey V. Panfilov, **Alexander R. Yusupov**, **Anatoly A. Korotkiy**, **Boris F. Ivanov**
Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation
panfilov@ikcmysl.ru

Abstract
Introduction. The safety problem and the situation with accidents during the operation of elevator installations are elucidated. The role of elevator rope defects as a factor of dangerous incidents is indicated from the point of view of statistics. The malfunctions of the elevator mechanical equipment related to the defective indices of the ropes are listed. There is a difference in the documentary fixation of defective indices and rejection rates of ropes of lifting structures.
Materials and Methods. The well-known approaches to the control of ropes of lifting structures were described. It was emphasized that visual inspection control (VIC) was required to identify such rejection rates of steel elevator ropes as geometry change, corrosion and wear, wire breaks, temperature exposure, etc. The rejection rate was presented in the form of a mathematical system. The technical condition of elevator ropes during the operation was integrally assessed by the totality of identified defects at a fixed length. The decision to create a software and hardware complex (PAC) for the practical implementation of visual and measuring control was validated.
Results. The developed PAC VIC laboratory sample consisted of a hardware part, a video stream processing module, communicator for the server connectivity, specially designed software, and a client mobile application. PAC VIC implemented the following functions:

– automatic detection and classification of the major significant rope defects based on a deep convolutional artificial neural network;

– demonstration of a three-dimensional image of a rope and an image scanning algorithm with distortion compensation, according to which the metric characteristics of defects were fixed;

– integral assessment of the technical condition of the rope according to the totality of detected defects;

– color interpretation of the actual technical condition of the rope with subsequent transmission to the user's mobile device.

Preliminary tests have shown the suitability of the PAC VIC for identifying defects. The reliability of the results for the identification and qualification of defects exceeded 80%. Work on deep learning of the system continues.
Discussion and Conclusions. PAC VIC of elevator ropes provides eliminating the risks of visual control caused by the psychophysical state of a person. It works remotely and contactless. The solution proposed by the authors automatically evaluates the rejection rates according to five criteria: external wire breaks, surface wear, rope diameter change, undulation, traces of temperature exposure. An important result of the VIC of steel ropes using computer vision and artificial intelligence is an increase in reliability and safety during the operation of elevator equipment.

Keywords: defects, elevator ropes, rejection rates, visual inspection control, hardware-software package, artificial neural networks, computer vision.

Acknowledgements. The authors are grateful to the FSBI “Fund for the Promotion of the Development of Small Businesses in the Sphere of Science and Technology” for the financial support of the study.

For citation. A. V. Panfilov, A. R. Yusupov, A. A. Korotkiy, B. F. Ivanov. On the Control of the Technical Condition of Elevator Ropes Based on Artificial Intelligence and Computer Vision Technology. Advanced Engineering Research, 2022, vol. 22, no. 4, pp. 323–330. https://doi.org/10.23947/2687-1653-2022-22-4-323-330

Введение. Вопросам безопасности при эксплуатации лифтового оборудования уделяется повышенное внимание[1, 2, 3]. В Российской Федерации эксплуатируются около 500 тыс. пассажирских, больничных и грузовых лифтов. Согласно статистике аварий лифтов, главные их причины — недостаточное качество лифтов и комплектующих, а также ненадлежащие техническое обслуживание и ремонт.

Анализ аварийности лифтов показывает, что около 30 % инцидентов прямо или косвенно связаны с техническим состоянием канатов [1]. Чрезвычайно опасны дефекты, развитие которых приводит к падению кабины. Аварии пассажирских лифтов, особенно трагедии с жертвами, — очень резонансные события. За нарушение требований безопасности при эксплуатации лифтов предусмотрена административная[4] и уголовная[5] ответственность.

Своевременный и качественный контроль технического состояния стальных канатов способствует предотвращению опасных инцидентов [2–5].

Повреждения в канатах возникают из-за их низкого качества и ошибок при монтаже. Следствием неверно выполненных работ может быть недопустимое взаимодействие с элементами оборудования лифта, в том числе электрическими.

Стальные канаты можно считать индикатором технического состояния лифтового оборудования. Их дефекты сигнализируют об износе ручьев шкивов, проскальзывании каната на шкиве (в том числе из-за излишней смазки), о перекосе креплений лебедки, о люфтах в элементах передаточных механизмов привода и т. д. Возможные неисправности элементов механической части лифта в зависимости от браковочных показателей канатов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Неисправности механического оборудования лифта, связанные с браковочными показателями канатов

№ п/п	Критерии браковки	Индикатор возможной неисправности
1	Обрывы наружных проволок	1. Износ ручья шкива. 2. Перекос канатоведущего шкива при монтаже либо техническом обслуживании. 3. Соприкосновение с внешними элементами при движении в шахте. 4. Ненадлежащее качество поставляемого стального каната.
2	Поверхностный износ каната	1. Износ ручья шкива. 2. Перекос шкива при монтаже или техническом обслуживании.
3	Местное увеличение или уменьшение диаметра каната	1. Ненадлежащее качество поставляемого стального каната. 2. Дефекты монтажа или обслуживания уравновешивающих устройств и мест заделок стальных канатов.
4	Волнистость	1. Ненадлежащее качество поставляемого стального каната. 2. Дефекты монтажа или ненадлежащее техобслуживание уравновешивающих устройств и мест заделок стальных канатов.
5	Температурное воздействие (электрический дуговой разряд)	1. Воздействие электрического тока при монтаже, ненадлежащее техническое обслуживание в процессе эксплуатации.
6	Дефекты уравновешивающих устройств и мест заделок стальных канатов	1. Дефекты монтажа. 2. Ненадлежащее техническое обслуживание. 3. Установка канатов из разных партий.

[1] О порядке обеспечения безопасности опасных объектов в общественных и жилых зданиях : Пост. Правительства РФ от 24.06.2017 № 743 // Правительство России : [сайт]. URL: http://government.ru/docs/28241/ (дата обращения: 25.10.2022).

[2] ГОСТ Р 55964-2014. Лифты. Общие требования безопасности при эксплуатации / Российское лифтовое объединение, «Лифтсервис» ; Технический комитет по стандартизации ТК 209 // docs.cntd.ru : [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200109313 (дата обращения: 25.10.2022).

[3] ГОСТ Р 54999-2012. Лифты. Общие требования к инструкции по техническому обслуживанию лифтов / Российское лифтовое объединение ; Технический комитет по стандартизации ТК 209 // docs.cntd.ru : [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200096000 (дата обращения: 25.10.2022).

[4] Нарушение требований промышленной безопасности или условий лицензий на осуществление видов деятельности в области промышленной безопасности опасных производственных объектов. Ст. 9.1.1 КоАП РФ // КонсультантПлюс : [сайт]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/6db72644d55f955ad23b924b678184a5d027d99f/ (дата обращения: 25.10.2022).

[5] Производство, хранение, перевозка либо сбыт товаров и продукции, выполнение работ или оказание услуг, не отвечающих требованиям безопасности. Ст. 238 УК РФ // Гарант : [сайт]. URL: https://base.garant.ru/10108000/82fa894382554e9c56db483eff62c412/ (дата обращения: 25.10.2022).

Есть существенное различие браковочных показателей и норм браковки канатов различных подъемных сооружений [6, 7] и лифтов. В последнем случае критерии указываются в руководстве по эксплуатации конкретного лифта. Такой подход сокращает количество индикаторов дефектности, что, безусловно, не способствует повышению эксплуатационной безопасности. В [1] изложены критерии и нормы браковки.

Материалы и методы. Канаты — это продукция глубокой переработки стали. При снижении запаса их прочности до критического значения эксплуатация недопустима.

Широко известен контроль канатов подъемных сооружений методом магнитной дефектоскопии. Его задействуют при диагностике пассажирских канатных дорог, грузоподъемных кранов, подъемников. Данный подход позволяет распознавать внутренние, невидимые глазу дефекты, измерять потери площади поперечного сечения каната, обнаруживать локальные несоответствия. Как правило, метод используют для контроля стальных канатов диаметром более 20 мм.

Средний срок службы лифтовых канатов регламентирован и не превышает 5 лет. За это время циклы нагружений не приводят к потере площади поперечного сечения и усталостным разрушениям проволок внутренних слоев. По этой причине магнитную дефектоскопию не применяют для лифтовых установок.

Наиболее распространенным методом оценки технического состояния лифтовых канатов является визуально-измерительный контроль (ВИК)[8]. Он позволяет оценивать техническое состояние эксплуатируемых лифтовых канатов оценивают по следующим нормам браковки:

– изменение геометрии $P1(t)$;

– коррозия и износ $P2(t)$;

– обрывы проволок (усталость) $P3(t)$;

– температурное воздействие $P4(t)$ и пр.

Здесь t — текущее время эксплуатации лифта.

Под нормой браковки понимают величину $Pi(t)$:

$$Pi(t) = Pio + Pi'(t). \tag{1}$$

Здесь Pio — склерономная часть, она не зависит от t и связана с однократным приложением нагрузок; $Pi'(t)$ — реономная часть, которая накапливается в процессе упругопластического циклического деформирования.

При оценке технического состояния каната во время эксплуатации рассчитывают потери его прочности хотя бы по одному из браковочных критериев:

$$Pi(t) \leq [Pi], \tag{2}$$

где $i = 1 \div 12$.

При техническом обслуживании пассажирских лифтов проводится ВИК стальных канатов с периодичностью, определенной в руководстве по эксплуатации (как правило, один раз в месяц).

ВИК стальных канатов состоит из двух этапов:

1) осмотр каната и мест его крепления с оптическими средствами или без них;

2) измерения диаметра, износа наружных проволок, геометрических отклонений от прямолинейности, поражения электрическим током и мест крепления.

Качество ВИК при техобслуживании стальных канатов связано с физиологическими возможностями зрительного восприятия человека [4–6]. В лифте может быть от 3 до 12 параллельно расположенных канатов со сложной системой уравновешивания. Количество зависит от высоты и грузоподъемности. Оценка технического состояния канатов, уравновешивающих устройств и заделок концов предполагает работу на высоте, в сложных, стесненных условиях при недостаточной освещенности[9]. Возможности зрения человека

[6] Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору // docs.cntd.ru : [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/573275657 (дата обращения: 25.10.2022).

[7] Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности пассажирских канатных дорог и фуникулеров» / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору // docs.cntd.ru : [сайт]. URL: https://docs.cntd.ru/document/573191373 (дата обращения: 25.10.2022).

[8] Возможности для улучшения визуального контроля канатов. Рекомендации OITAF № 30 / Международная организация канатного транспорта // gosnadzor.ru : [сайт]. URL: https://www.gosnadzor.gov.ru/industrial/equipment/cable%20cars%20and%20funiculars/method%20www.oitaf.org/ (дата обращения: 05.11.2022).

[9] Vision-Based Technique for Lay Length Measurement of Metallic Wire Ropes / A. Vallan, M. Filippo // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2009. Vol. 58, iss. 5. P. 1756–1762.

ограничены. Известно, что после наблюдения за движущимся стальным канатом более 10 минут глаза устают и хуже воспринимают многочисленные браковочные показатели. Качественный, объективный контроль лифтовых канатов требует автоматизации процесса. Анализ литературных источников, аварий и инцидентов показал, что для автоматизации целесообразно задействовать решения на основе технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта [5–10].

Авторы поставили цель создать программно-аппаратный комплекс (ПАК) ВИК для практической реализации визуально-измерительного контроля на основе технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта[10].

Результаты исследования. В лифтах дефекты стальных канатов и их креплений автоматически обнаруживаются и идентифицируются с помощью специальных средств фото- и видеофиксации. Машинное зрение и искусственный интеллект обрабатывают изображения дефектов. Интегральная оценка типов и параметров выявленных дефектов в виде цветовой индикации передается на мобильное устройство.

ПАК ВИК автоматизирует и объединяет два метода контроля: визуальный и инструментальный.

Ниже перечислены основные функции ПАК ВИК.

1. Решение на основе глубокой сверточной искусственной нейронной сети автоматически обнаруживает и классифицирует основные дефекты канатов и их заделки.

2. Комплекс камер и алгоритм развертки изображения с компенсацией искажений дают объемное изображение каната для фактического определения метрических характеристик дефектов.

3. По совокупности обнаруженных дефектов на основе риск-анализа выполняется интегральная оценка технического состояния каната.

4. Интегральная оценка в виде цветового индикатора периодически передается на мобильное устройство пользователя.

Комплекс состоит из трех элементов.

1. Аппаратная часть. Это корпус с вмонтированными видеокамерами, которые позволяют рассматривать канат со всех сторон. Специальный модуль обрабатывает видеопоток, а средства коммуникации позволяют связаться с сервером.

2. Созданное с использованием стека технологий Pytorch, TensorFlow, OpenCV программное обеспечение ищет и классифицирует дефекты стальных канатов на основе глубокой сверточной искусственной нейронной сети.

3. Мобильное приложение информирует пользователя об итогах мониторинга.

Для фотофиксации участков подвижных стальных канатов задействуют шесть IP-камер с разрешением 640×480. Они закрепляются в корпусе, установленном в шахте лифта. Количество камер зависит от числа канатов, на которых подвешена кабина лифта. Камеры подключаются по проводному или беспроводному каналу связи к одноплатному компьютеру, который обрабатывает изображения и формирует пакетное сообщение для пересылки на сервер. Одноплатный компьютер формирует пакетное сообщение. Оно по кабелю Ethernet или беспроводному каналу связи через модем-роутер передается на сервер, который классифицирует дефекты, определяет их количество и метрологические параметры, выводит интегральную оценку технического состояния каната, интерпретирует ее как цветовой индикатор и в таком виде передает пользователю через мобильное приложение.

На рис. 1–3 представлены модули ПАК ВИК для лифтовых установок, функциональная схема и аппаратная часть комплекса.



Рис. 1. Модули ПАК ВИК (рисунок авторов)

[10] Способ визуально-измерительного контроля стального каната : патент 2775348 Рос. Федерация : D07B 1/00 ; B66B 7/1215 ; G05B 99/00 / А. А. Короткий [и др.]. № 2021107842 ; заявл. 23.03.2021 ; опубл. 29.06.2022, Бюл. № 19. 16 с.

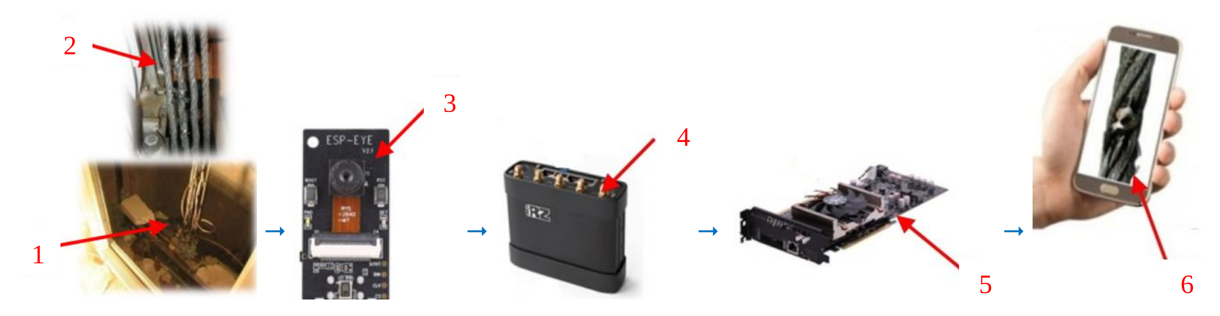
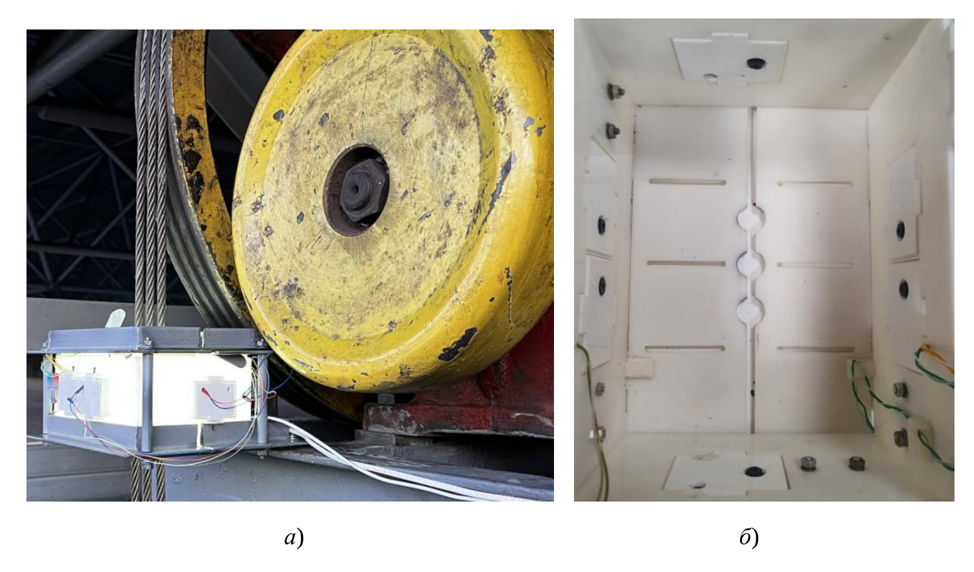


Рис. 2. Функциональная схема ПАК ВИК распознавания дефектов стальных канатов и уравновешивающих устройств на основе технологий компьютерного зрения и искусственного интеллекта: 1 — уравновешивающее устройство; 2 — дефекты каната; 3 — IP-камера; 4 — GSM-модем; 5 — нейровычислитель; 6 — изображение в мобильном устройстве (рисунок авторов)



а) *б*)

Рис. 3. Аппаратная часть ПАК ВИК: *а* — место в лифтовой установке; *б* — точки установки шести IP-камер (фото авторов)

ПАК ВИК с использованием компьютерного зрения идентифицирует и классифицирует основные дефекты стальных канатов лифтовых установок и уравновешивающих устройств:

1) обрывы наружных проволок;
2) поверхностный износ проволок;
3) увеличение или уменьшение диаметра каната;
4) деформацию в виде волнистости («штопора»);
5) повреждения от электрического дугового разряда;
6) дефекты уравновешивающих устройств.

В базе данных собраны фото- и видеообразы типовых дефектов стальных канатов и уравновешивающих устройств. Комплекс периодически либо по запросу выводит дистанционную интегральную оценку браковочных показателей канатов и дефектов уравновешивающих устройств и передает ее на мобильное приложение пользователя.

Вычислительный аппарат используется для интегральной оценки технического состояния стального каната и интерпретации результата с помощью цвета (красный, желтый, зеленый). Это позволяет интегрироваться с сенсорами, установленными в системах управления и диспетчерской связи лифтов, а также с программами онлайн-контроля техобслуживания «Лифт мониторинг»[11] и облачной платформой автоматизации сервисного обслуживания «Арпикон. Online»[12].

Предложенное решение предварительно испытали на лабораторной лифтовой установке с тремя канатами с органическим сердечником. Их характеристики соответствуют ГОСТ 3077–80:

– двойная свивка типа ЛК-О;
– конструкция 6×19 (1 + 9 + 9) + 1 о. с.;
– диаметр 10 мм.

http://vestnik-donstu.ru

[11] Русанов С. Е. Программа для ЭВМ «Лифт Мониторинг» // lmonitor.ru: [сайт]. URL: https://lmonitor.ru (дата обращения: 29.10.2022).
[12] Арпикон. Online : [сайт] / ООО «Центр». URL: https://lift.arpicon.ru (дата обращения: 29.10.2022).

Тестирование показало реализуемость метода определения перечисленных выше дефектов с использованием ПАК ВИК. Достоверность выявления и квалификации дефектов превысила 80 %. Для улучшения результатов продолжаются работы по глубокому обучению системы: совершенствуются алгоритмы, увеличивается количество и качество датасетов образов типовых дефектов стальных канатов и уравновешивающих устройств.

Обсуждение и заключения. Дефекты стальных канатов могут привести к падению кабины лифта. При техническом облуживании лифтов для полной оценки реальных рисков аварий и инцидентов бывает недостаточно визуального контроля.

Установлено, что технологии компьютерного зрения и искусственного интеллекта можно использовать для интегральной оценки технического состояния стальных канатов, и это значительно повышает уровень безопасности при эксплуатации лифтовых установок.

ПАК ВИК лифтовых канатов исключает риски, связанные с психофизическим состоянием человека, определяющего состояние системы. Таким образом можно повысить безопасность эксплуатации лифтового оборудования.

Достоинства разрабатываемого ПАК ВИК лифтовых канатов:

– функционирование в автоматическом режиме, непосредственно в эксплуатируемом лифте;

– бесконтактное обнаружение браковочных показателей с помощью фото- и видеонаблюдения (машинное зрение);

– автоматическая оценка браковочных показателей по пяти критериям в режиме онлайн (обрывы наружных проволок, поверхностный износ, местное увеличение или уменьшение диаметра каната, волнистость, температурное воздействие);

– передача на мобильное приложение пользователя браковочных показателей в цветовой кодировке;

– обработка изображений с дефектами стальных канатов искусственным интеллектом.

Потенциальные потребители ПАК ВИК:

– эксплуатанты — организации, ответственные за техническое состояние лифтов;

– товарищества собственников жилья, управляющие компании;

– производители, покупатели и продавцы пассажирских лифтов.

Список литературы

1. Снижение риска возникновения и тяжести последствий несчастных случаев при авариях лифтов / А. В. Панфилов, В. П. Колганов, О. А. Бахтеев [и др.] // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. — 2020. — № 3. — С. 451–460. https://doi.org/10.22281/2413-9920-2020-06-03-451-460

2. РД РОСЭК 012–97. Канаты стальные. Контроль и нормы браковки / А. А. Короткий, М. Н. Хальфин, Б. Ф. Иванов [и др.]. — Новочеркасск : РОСЭК, 1997. — 50 с.

3. Mouradi, H. Steel Wire Ropes Failure Analysis: Experimental Study / H. Mouradi, A. E. Barkany, A. E. Biyaali // Engineering Failure Analysis. — 2018. — Vol. 91. — P. 234–242. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.04.019

4. Deyst, J. P. Bounds on Least-Squares Four-Parameter Sine-Fit Errors due to Harmonic Distortion and Noise / J. P. Deyst, M. Sounders, O. M. Solomon // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 1995. — Vol. 44. — P. 637–642. 10.1109/19.387298

5. Soucup, D. Convolutional Neural Networks for Steel Surface Defect Detection from Photometric Stereo Images. In: Advances in Visual Computing. ISVC 2014. / D. Soukup, R. Huber-Mörk // Lecture Notes in Computer Science. — 2014. — Vol. 8887. — P. 668–677. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14249-4_64

6. Vallan, A. A Vision-Based Technique for Lay Length Measurement of Metallic Wire Ropes / A. Vallan, F. Molinar // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. — 2009. — Vol. 58. — P. 1756–1762. 10.1109/TIM.2009.2012953

7. On the Suitability of Different Features for Anomaly Detection in Wire Ropes. In: Computer Vision, Imaging and Computer Graphics: Theory and Applications. Ranchordas, A., et al. (eds.) / E.-S. Platzer, H. Süße, J. Nägele [et al.] // VISIGRAPP 2009 : Communications in Computer and Information Science. — 2009. — Vol. 68. — P. 296–308. https://doi.org/10.1007/978-3-642-11840-1_22

8. One-Class Classification for Anomaly Detection in Wire Ropes with Gaussian Process in a Few Lines of Code / E. Rodner, E.-S. Wacker, M. Kemmler, J. Denzler // In: Proc. 12th IAPR Conference on Machine Vision Applications. — URL: https://www.researchgate.net/publication/232805478_OneClass_Classification_for_Anomaly_Detection_in_ Wire_Ropes_with_Gaussian_Processes_in_a_Few_Lines_of_Code (accessed: 29.09.2022).

9. Surface Damage Detection for Steel Wire Ropes Using Deep Learning and Computer Vision Techniques / Xinyuan Huang, Zhiliang Liu, Xinyu Zhang [et al.] // Measurement. — 2020. — Vol. 161. — Art. 107843. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107843

10. Evolution Properties of Tribological Parameters for Steel Wire Rope under Sliding Contact Conditions / Xiangdong Chang, Yuxing Peng, Sheng-Yong Zou, Zhen-Cai Zhu // Metals. — 2018. — Vol. 8. — P. 743. 10.3390/met8100743

Поступила в редакцию 31.10.2022.
Поступила после рецензирования 18.11.2022.
Принята к публикации 18.11.2022.

Об авторах:

Панфилов Алексей Викторович, доцент кафедры «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ORCID, panfilov@ikcmysl.ru

Юсупов Александр Рашидович, старший преподаватель кафедры «Робототехника и мехатроника» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, temple_black@mail.ru

Короткий Анатолий Аркадьевич, заведующий кафедрой «Эксплуатация транспортных систем и логистика» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ORCID, korot@novoch.ru

Иванов Борис Федорович, ведущий научный сотрудник Центра научных компетенций Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, ivanov@ikc-mysl.ru

Заявленный вклад соавторов:

А. В. Панфилов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, формулирование выводов. А. А. Короткий — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов. Б. Ф. Иванов — анализ аварий и инцидентов, написание и редактирование текста. А. Р. Юсупов — реализация аппаратной и программной частей, проведение испытаний, обработка результатов.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.